Redresseur : Redresseur simple alternance monophasé 1

Introduction

Définition

Un **redresseur simple alternance monophasé** est un redresseur supprimant les alternances négatives et conservant les alternances positives d'une entrée monophasée. La fréquence en sortie du redresseur est alors égale à la fréquence d'entrée.

Si V(t) est la tension d'entrée et $V_s(t)$ la tension en sortie du redresseur, on obtient alors une tension de sortie qui ressemble à la suivante :

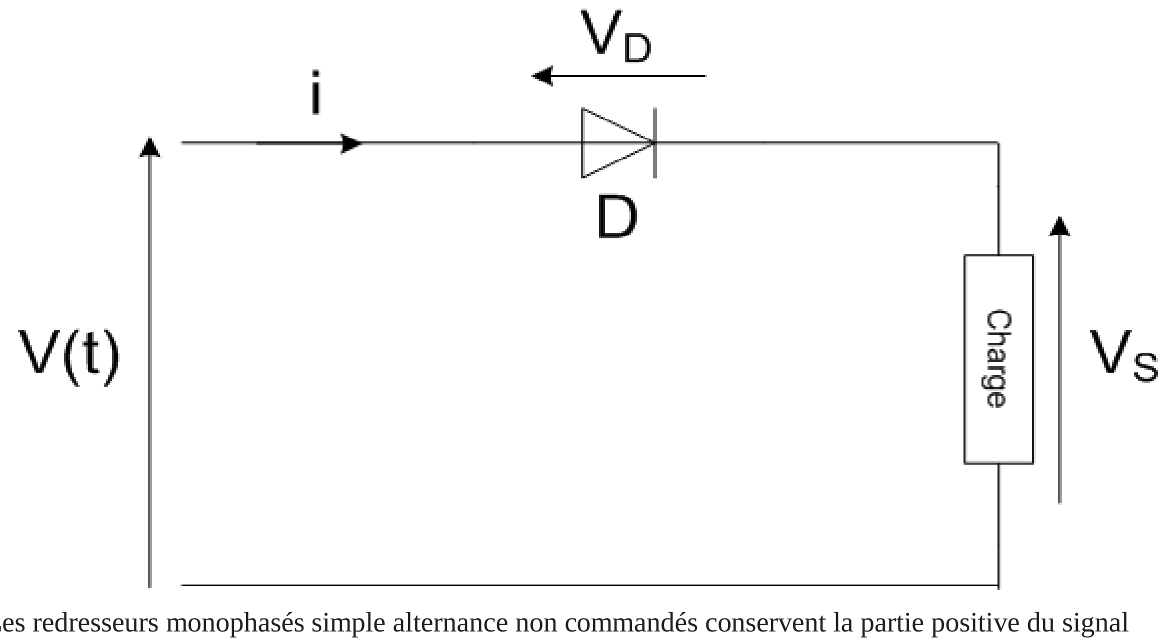
La tension d'entrée utilisée pour illustrer le chapitre est une tension sinusoïdale. En effet, la tension à redresser est souvent le réseau monophasé domestique (le réseau 50 Hz d'EDF en France, par exemple).

Il existe deux types de redresseurs simple alternance :

- *les redresseurs non commandés*, constitués d'une diode en série avec la charge
- *les redresseurs commandés*, constitués d'un thyristor en série avec la charge, qui permettent de faire varier les grandeurs électriques en sortie du convertisseur

Redresseur simple alternance non commandé

Ce type de redresseur est réalisé en mettant simplement une diode en série avec la charge comme le montre le schéma suivant :



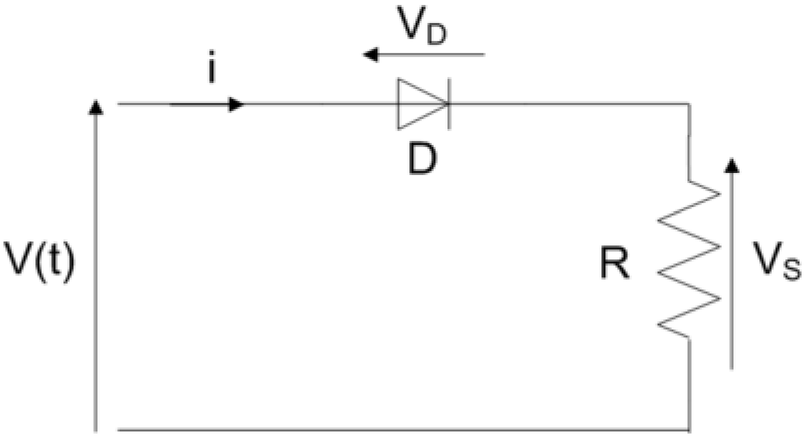
Les redresseurs monophasés simple alternance non commandés conservent la partie positive du signal d'entrée et coupent la partie négative. Leur comportement dépend cependant du type de charge.

Nous allons étudier leur comportement avec différents types de charges :

- une charge purement résistive
- une charge inductive
- une charge inductive et une diode de roue libre
- une charge comprenant une force électromotrice

Charge purement résistive

Une diode en série avec une résistance pure peut jouer le rôle de redresseur.



On suppose que $v(t) = \sqrt{2}V sin(\omega t)$ et $T = \frac{2\pi}{\omega}$ est la période de V(t).

Calcul de la valeur moyenne du courant de sortie du redresseur :
Lorsque la diode conduit, on a, d'après la loi d'Ohm :

$$i(t) = \frac{v(t)}{R} = \frac{\sqrt{2}V sin(\omega t)}{R}$$

La diode est passante jusqu'à ce que le courant qui la traverse s'annule. Or i(t) s'annule pour t=T/2. À partir de cet instant, la diode est bloquée.

Par conséquent, le courant traversant la charge est :

- $Pour\ 0 < t < \frac{T}{2} \qquad i(t) = \frac{v(t)}{R} = \frac{\sqrt{2}V sin(\omega t)}{R}$
- $Pour\ \frac{T}{2} < t < T \qquad i(t) = 0$

La valeur moyenne du courant i(t) est donc :

$$< i(t) >= \frac{1}{T}\int_0^T i(t)\mathrm{d}t = \frac{1}{T}\int_0^{\frac{T}{2}} \frac{\sqrt{2}V sin(\omega t)}{R}\mathrm{d}t$$

donc

$$\boxed{< i(t) >= \frac{\sqrt{2}}{\pi}\frac{V}{R}}$$

La présence de la diode impose que le courant ait un signe constant. La valeur moyenne de ce courant est imposée par les paramètres de la source et de la charge résistive.

Calcul de la valeur moyenne de la tension de sortie du redresseur :

La loi des mailles donne $V(t)= V_s(t) + V_D(t)$. On a alors, en supposant que $V_D(t)$ est nulle lorsque la diode conduit :

- $Pour\ 0 < t < \frac{T}{2} \qquad v_s(t) = v(t) = \sqrt{2}V sin(\omega t)$
- $Pour\ \frac{T}{2} < t < T \qquad v_s(t) = 0$

La valeur moyenne de la tension Vs(t) est donc :

$$< v_s(t) >= \frac{1}{T}\int_0^T v_s(t)\mathrm{d}t = \frac{1}{T}\int_0^{\frac{T}{2}} \sqrt{2}V sin(\omega t)\mathrm{d}t$$

donc

$$\boxed{< v_s(t) >= \frac{\sqrt{2}}{\pi}V}$$

La valeur moyenne de la tension de sortie est positive. On peut également remarquer que cette valeur moyenne dépend uniquement des paramètres de la tension d'entrée.

Calcul du facteur de puissance du redresseur :

La puissance moyenne consommée par la résistance est :

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T v(t)i(t)\mathrm{d}t = \frac{1}{T}\int_0^{\frac{T}{2}} \frac{2V^2}{R} sin^2(\omega t)\mathrm{d}t = \frac{V^2}{2R}$$

La puissance apparente de la source d'alimentation est :

$$S = VI = V\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i^2(t)\mathrm{d}t} = V\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^{\frac{T}{2}} \frac{2V^2}{R^2} sin^2(\omega t)\mathrm{d}t} = \frac{V^2}{R\sqrt{2}}$$

On obtient alors la valeur du facteur de puissance :

$$\boxed{f_p = \frac{P}{S} = \frac{1}{\sqrt{2}}}$$

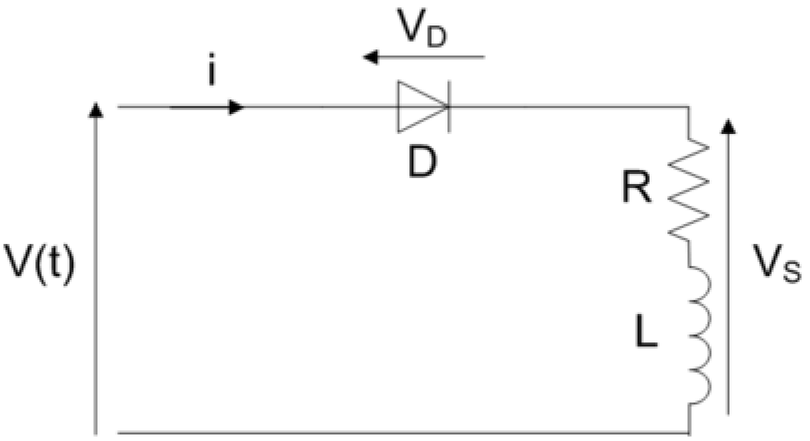
Le facteur de puissance est inférieur à 1.

On obtient alors la sortie suivante :

La tension aux bornes de la charge a été redressée.

Charge inductive

Si la charge est de type inductif, la tension de sortie n'est pas correctement redressée si l'on utilise une seule diode.



On suppose que $V(t) = \sqrt{2}V sin(\omega t)$ et $T = \dfrac{2\pi}{\omega}$ est la période de .

Calcul du courant traversant la charge :

La loi des mailles donne $V(t) = V_s(t) + V_D(t)$.

Lorsque la diode est passante, on a $V_D(t) = 0$. L'équation régissant le comportement du courant dans la charge est alors :

$$V_s(t) = V(t) = \sqrt{2}V sin(\omega t) = L\frac{\mathrm{d}i(t)}{\mathrm{d}t} + Ri(t)$$

Résolvons cette équation différentielle :

$$i(t) = Asin(\omega t) + Bcos(\omega t) + Ce^{-\frac{R}{L}t} \text{ avec } A = \frac{RV\sqrt{2}}{R^2 + (L\omega)^2} \text{ et } B = -\frac{L\omega V\sqrt{2}}{R^2 + (L\omega)^2}$$

En prenant comme condition initiale i(0) = 0, on trouve C = -B.

Le courant i(t) parcourant la charge est donc :

- Lorsque la diode est passante,

$$\boxed{i(t) = \frac{RV\sqrt{2}}{R^2 + (L\omega)^2}\sin(\omega t) + \frac{L\omega V\sqrt{2}}{R^2 + (L\omega)^2}(e^{-\frac{R}{L}t} - cos(\omega t))}$$

- Lorsque la diode est bloquée,

$$\boxed{i(t) = 0}$$

La bobine impose la continuité du courant dans la charge.

Date à partir de laquelle la diode est bloquée :

La diode se bloque dès que i(t) s'annule. En t = T/2, on a :

$$i\left(\frac{T}{2}\right) = \frac{L\omega V\sqrt{2}}{R^2 + (L\omega)^2}(e^{-\frac{R}{L}\frac{T}{2}} + 1)$$

i(T/2) est positif, la diode ne se bloque donc pas en t = (T/2). L'introduction de la bobine induit un retard au blocage de la diode.

La diode se bloque donc en

$$\boxed{t_0 = T/2 + t_r \qquad avec\ 0 < t_r < \frac{T}{2}}$$

Valeur moyenne de la tension de sortie du redresseur :

La tension de sortie du convertisseur est :

- $Pour\ 0 < t < t_0 \qquad V_s(t) = V(t) = V\sqrt{2}sin(\omega t)$
- $Pour\ t_0 < t < T \qquad V_s(t) = 0$

La valeur moyenne de la tension Vs(t) est donc :

$$< V_s(t) >= \frac{1}{T}\int_0^T V_s(t)\mathrm{d}t = \frac{1}{T}\int_0^{t_0} V\sqrt{2}sin(\omega t)\mathrm{d}t = \frac{1}{T}\int_0^{\frac{T}{2}} V\sqrt{2}sin(\omega t)\mathrm{d}t + \frac{1}{T}\int_{\frac{T}{2}}^{t_0-\frac{T}{2}} V\sqrt{2}sin(\omega t)\mathrm{d}t = \frac{\sqrt{2}}{\pi}V - \frac{\sqrt{2}}{2\pi}V(1 + cos(\omega(t_0 - \frac{T}{2})))$$

Donc

$$\boxed{< V_s(t) >= \frac{\sqrt{2}}{2\pi}V(1 - cos(\omega(t_0 - \frac{T}{2})))}$$

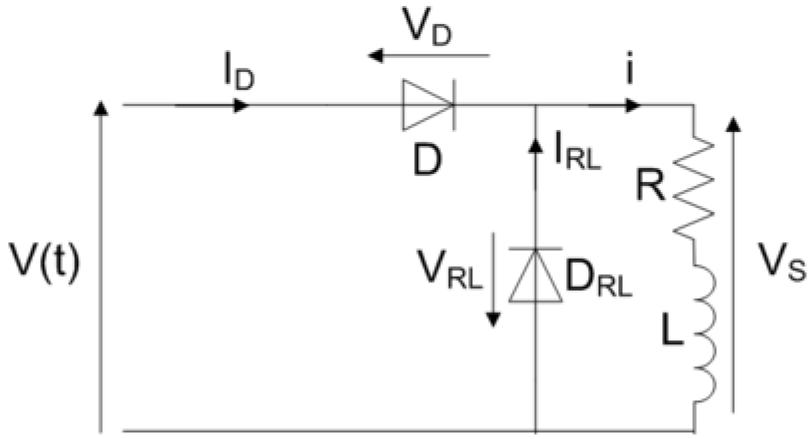
Comme $t_0 < \frac{T}{2}$, $< V_s(t) >$ est positif.

On obtient alors la sortie suivante :

Dans le cas où l'on a une charge de type inductif, la tension redressée est négative pendant une partie de la période. Ce problème est résolu en ajoutant une diode de roue libre.

Charge inductive avec une diode de roue libre

Lorsque la charge est de type inductif, la tension à ses bornes peut être négative en sortie du redresseur. Pour corriger ce problème, on ajoute une diode de roue libre en parallèle de la charge. Les deux diodes sont en cathode commune.



On suppose que $V(t) = \sqrt{2}V sin(\omega t)$ et $T = \frac{2\pi}{\omega}$ est la période de V(t) .

D'après les résultats de la fonction Max, une seule des deux diodes peut conduire à la fois, celle qui a le potentiel anodique le plus élevé.

La loi des mailles donne $V(t) = V_s(t) + V_D(t) = V_D(t) - V_{RL}(t)$. Lorsque $V(t)>0$, on a $V_D(t) > V_{RL}(t)$ et lorsque $V(t) < 0$, on a $V_D(t) < V_{RL}(t)$. Jusqu'à $t = T/2$, c'est donc la diode D qui conduit. En $t = T/2$, la diode de roue libre devient passante et bloque la diode D.

Calcul du courant traversant la charge :

Lorsque $0<t<\frac{T}{2}$, le montage est équivalent au montage sans diode de roue libre donc

$$i(t) = \frac{RV\sqrt{2}}{R^2+(L\omega)^2}\sin(\omega t) + \frac{L\omega V\sqrt{2}}{R^2+(L\omega)^2}(e^{-\frac{R}{L}t} - cos(\omega t))$$

.

Lorsque $\frac{T}{2}<t<T$, l'équation différentielle régissant le comportement du courant dans la charge est

$$Ri(t) + L\frac{\mathrm{d}i(t)}{\mathrm{d}t} = 0$$

Le courant étant continu dans une bobine, on a

$$i(\frac{T}{2}) = \frac{L\omega V\sqrt{2}}{R^2+(L\omega)^2}(e^{-\frac{R}{L}\frac{T}{2}} + 1)$$

La solution est donc

$$i(t) = \frac{L\omega V\sqrt{2}}{R^2+(L\omega)^2}(e^{-\frac{R}{L}\frac{T}{2}} + 1)e^{-\frac{R}{L}(t-\frac{T}{2})}$$

Le courant i(t) parcourant la charge est donc :

- Pour $0<t<\frac{T}{2}$,

$$\boxed{i(t) = \frac{RV\sqrt{2}}{R^2+(L\omega)^2}\sin(\omega t) + \frac{L\omega V\sqrt{2}}{R^2+(L\omega)^2}(e^{-\frac{R}{L}t} - cos(\omega t))}$$

- Pour $\frac{T}{2}<t<T$,

$$\boxed{i(t) = \frac{L\omega V\sqrt{2}}{R^2+(L\omega)^2}(e^{-\frac{R}{L}\frac{T}{2}} + 1)e^{-\frac{R}{L}(t-\frac{T}{2})}}$$

La bobine impose la continuité du courant dans la charge.

Le courant efficace est inférieur à celui du montage sans diode de roue libre.

Calcul de la valeur moyenne de la tension de sortie :

La tension de sortie vaut :

- Pour $0<t<\frac{T}{2}$, $V_s(t) = V(t) = V\sqrt{2}sin(\omega t)$
- Pour $\frac{T}{2}<t<T$, $V_s(t) = 0$

La valeur moyenne de Vs(t) est donc

$$< V_s(t) >= \frac{1}{T}\int_0^T V_s(t)\mathrm{d}t = \frac{1}{T}\int_0^{\frac{T}{2}} V\sqrt{2}\sin(\omega t)\mathrm{d}t$$

Donc

$$\boxed{< V_s(t) >= \frac{\sqrt{2}}{\pi}V}$$

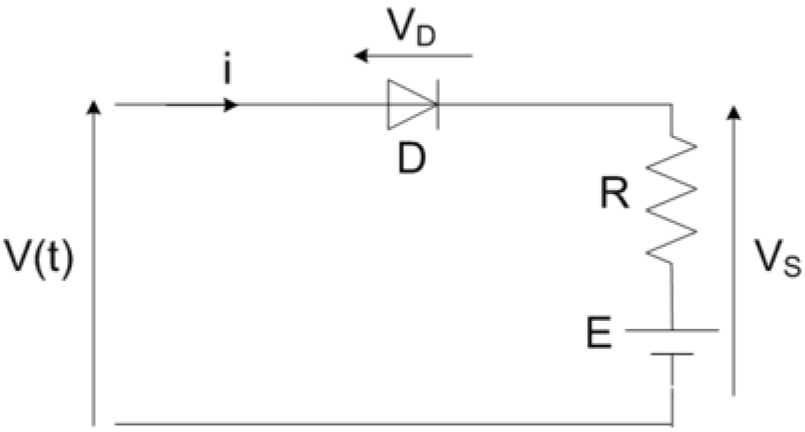
La valeur moyenne de la tension redressée est supérieure à celle du montage sans diode de roue libre.

On obtient alors la sortie suivante :

Ce montage a permis de corriger le problème survenant avec une charge de type inductif. De plus, la valeur moyenne de la tension de sortie est supérieure. Cependant, la valeur efficace du courant traversant la charge est inférieure au cas sans diode de roue libre.

Charge avec une force électromotrice

Une diode peut redresser la tension aux bornes d'une charge composée d'une résistance et d'une force électromotrice.



On suppose que

$V(t) = \sqrt{2}V sin(\omega t)$ et $T = \frac{2\pi}{\omega}$ est la période de V(t) .

La loi des mailles donne $V(t)= V_s(t) + V_D(t)$.

Lorsque la diode est bloquée, la tension à ses bornes est V(t)-E. Elle conduit donc dès que V(t)>E. Pendant que la diode conduit, le courant la traversant est régit par l'équation différentielle :

$$Ri(t) + E = V(t) = V\sqrt{2}sin(\omega t)$$

Donc

$$i(t) = \frac{V(t) - E}{R}$$

La diode se bloque dès que ce courant s'annule donc dès que repasse en dessous de E.

Courant traversant la charge :

Le courant traversant la charge est :

- Lorsque la diode conduit,

$$\boxed{i(t) = \frac{V(t) - E}{R}}$$

- Lorsque la diode est bloquée,

$$\boxed{i(t) = 0}$$

Tension aux bornes de la charge :

La tension de sortie aux bornes de la charge est :

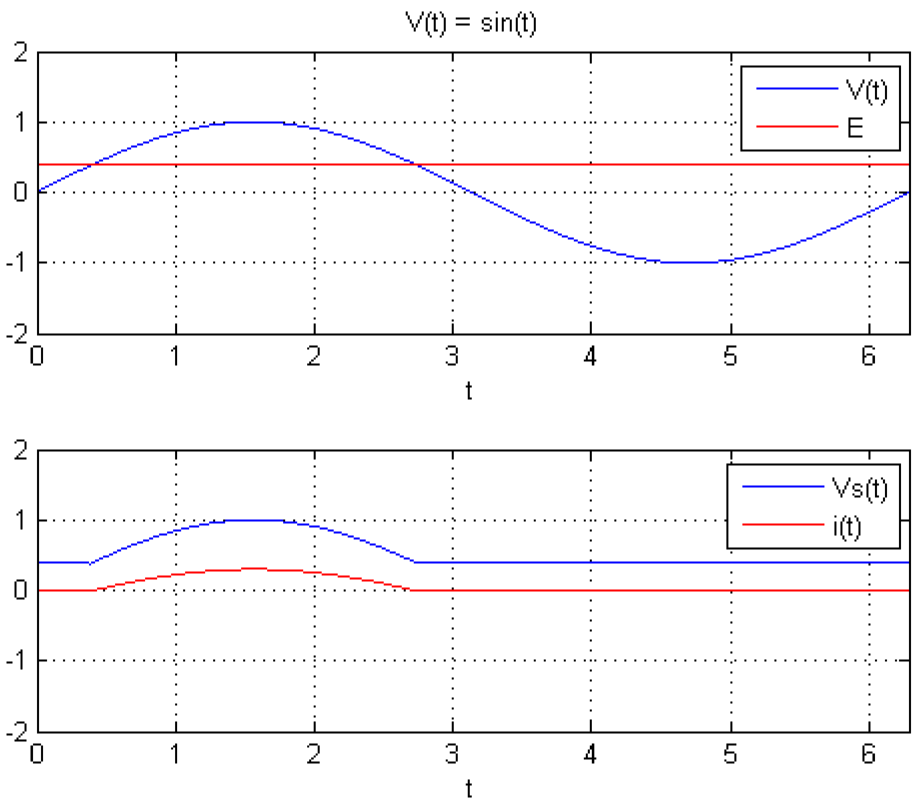
- Lorsque la diode conduit,

$$\boxed{V_s(t) = V(t) = V\sqrt{2}sin(\omega t)}$$

- Lorsque la diode est bloquée,

$$\boxed{V_s(t) = E}$$

On obtient alors la sortie suivante :



Conclusion

Une diode en série avec la charge permet de redresser la tension aux bornes de la charge. Si la charge est de type inductif, il est nécessaire d'ajouter une diode de roue libre pour éviter que la tension de sortie soit négative.